

装配式绿色建筑后期运维节能措施探讨

吴静

河套学院，内蒙古自治区巴彦淖尔市，015000；

摘要：研究围绕装配式绿色建筑后期运行维护节能这一中心主题，对节能意义，关键技术和路径进行了系统分析。研究方法以定性分析和案例验证为主要手段，从围护结构优化、机电系统智能控制和可再生能源集成策略等方面进行研究，从而构建多维度运维节能技术体系。研究表明将BIM（Building Information Modeling，建筑信息模型）技术与物联网技术相结合可以显著提高能源消耗的监测准确性，而能源管理系统的动态优化策略可以有效地减少大约10%—20%的运行能耗。同时标准化运维体系和绩效化考核机制也是保证节能措施长期高效实施的关键。装配式绿色建筑节能潜力应该在运维阶段以信息化管理和协同机制充分释放，实现建筑全生命周期高效节能和低碳运行。

关键词：装配式绿色建筑；运维管理；节能技术；BIM

DOI：10.64216/3080-1494.25.09.068

引言

装配式绿色建筑是我国建筑产业转型中的一个重要发展方向，它所具有的节能特性并不仅仅表现为设计和施工阶段的节能，还表现为运维环节中能效管理所带来的深层次价值。大量实践证明在建筑全寿命周期内，能耗主要集中在运行阶段，而传统的管理模式已经很难满足高性能建筑节能的要求。引入智能化控制、数字化管理和可再生能源集成等技术，可以实现后期运维过程中能耗不断优化和系统调节。研究目的在于探索装配式建筑运行维护阶段节能策略及保障路径，以期对绿色建筑精细化运行维护提供理论支撑和实践参考。

1 装配式绿色建筑的运维节能意义与特点

1.1 装配式建筑的节能理念与绿色属性

装配式绿色建筑的核心是工业化建造及模块化设计，采用构件预制、现场组装的方式实现建造过程中的节能及资源的循环利用。它的节能理念注重全寿命周期内能效的优化，在设计、生产、建设和运行的各个环节都面向减碳。装配式建筑利用高性能的围护结构、保温一体化墙体和可再生材料增强热工性能，降低建筑能耗。同时BIM和智能化设计技术的运用使得能源模拟和构件性能预测更准确，为以后节能运行打下了基础^[1]。这种建筑模式在提高了建造效率及品质的同时，也为能源的绿色运营奠定了可持续管理的基础，达到了经济效益和生态效益共赢。

1.2 后期运维阶段对节能目标的重要影响

装配式绿色建筑节能效果不单单依靠设计和施工，

还需要在后期运行维护阶段进行科学管理。在建筑的整个生命周期中，运行阶段的能耗大约占据了80%以上，如果运维策略选择不恰当，那么节能设计的效果将会受到严重影响。通过智能控制系统、设备调度优化和环境监测等手段，可以在运维阶段对能耗进行动态调节和不断优化。能耗数据实时获取和分析为节能诊断和策略调整提供了科学依据，设备的维修、围护结构性能的维持和对用户的行为指导，都直接关系到建筑能效的高低。好的运维管理可以保证建筑长期处于低能耗状态，达到节能目标不断兑现和绿色价值最大化的目的。

2 装配式绿色建筑运维节能的关键技术措施

2.1 建筑围护结构的节能优化与保温技术

装配式建筑围护系统运行维护阶段，要通过精细化检测和动态修复来维持热工性能的稳定性。墙体接口及板缝处需用双层密封和弹性耐候胶持续封闭，并在外墙上加贴气密膜，杜绝渗风通道。对于保温层而言应该使用低导热的岩棉或者聚氨酯喷涂材料进行喷涂，同时使用红外热像仪对热桥的位置进行定期的监控，对于热损失比较严重的地区进行局部的补强。屋面可用反射率不小于0.75的高反射涂层与通风屋面系统相结合达到冷岛调节目的。门窗系统主要采用高气密性断桥铝框和双银Low-E玻璃，以确保传热系数不超过 $2.0\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，并通过定期的气密测试来及时更换老化的密封条。对于容易结露的地方可以加入毛细管网或者相变蓄热层以稳定房间的热湿平衡。整体上应该构建一个“结构保温一体，节点热桥隔断，界面封闭连续”的封闭系统，以

实现在运维期内热损失的最小化和能效的常态化。

2.2 机电系统与智能控制系统的节能运行策略

机电系统节能核心是调控逻辑和数据驱动联动优化,该冷源系统能够通过建立的实时负荷预测模型对冷机进行动态开停以达到“按需出力等”的目的,并配合冷却塔变频和冷凝温度的自适应控制使得系统的COP长期保持在4.0或更高。空调末端通过CO₂浓度和温湿度双参数反馈新风调节策略根据人流密度进行风量自动调节。利用DALI协议和日照传感技术,照明系统能够动态地调整光照,确保室内的照度在工作需求范围内保持稳定,并能实现高达25%的节电率。电梯系统采用群控算法进行运行优先级分配,实现高峰分层调度和低峰集中服务以及制动能量的回收用于低压回路。智能控制平台应该具有自学习的功能,利用能耗数据对设定值和启停逻辑进行追溯和优化。设备巡检和维修要数字化,采用BIM-FM系统进行能效降低设备识别和工单自动生成,对设备层级和能耗指标进行闭环管理^[2]。

2.3 可再生能源在运维阶段的集成与利用

装配式绿色建筑运维期可以采用分布式能源协同策略,提升可再生能源的利用率。屋面光伏系统要和建筑能源管理平台相联,采取“光储直柔”的方式,白天产生的电能优先提供给空调和照明负荷使用,剩余电能存储在锂电池组或者直流母线上,峰后回馈给交流侧。地源和空气源热泵系统需要结合分区换热控制以达到冷热负荷平衡和避免井群热饱和的目的。在生活热水系统中,可以安装余热回收换热器,利用数据机房和冷凝余热进行热水预热,这样每年可以减少超过15%的热能消耗。风能和太阳能混合通风单元可以替代过渡季部分机械通风以灵活切换自然能和动力能。在运维方面应该构建一个动态的可再生能源运行数据归档和绩效分析模型,并结合气象预测来调整储能调度,从而实现一个“预测—反应—校正”的能源管理闭环,使得建筑全生命周期中保持清洁能源比例高和能源结构最佳匹配。

3 运维阶段的管理与信息化手段

3.1 BIM与物联网技术在运维节能中的应用

装配式绿色建筑运维过程中,要将BIM和物联网结合运用,形成“模型—资料—决策”一体化闭环。具体可以通过将构件编号、能耗参数和维护周期挂接到BIM模型上实现可视化的能效管理,以深圳前海的一栋装配式写字楼为例,通过BIM平台和传感网络对楼内温湿度,电功率以及设备的运行状态进行实时同步,该系统能够

自动识别冷负荷集中区域,命令空调分区进行调整。物联网感知层应该使用NB-IoT和LoRa双协议进行覆盖,并把设备状态、能耗数据和环境参数等信息实时上传到云端,建立高时效性数据网络。运维操作层中管理人员可以直接通过数字孪生界面对异常设备进行定位和远程调控指令的发布,而不需要现场介入。为了保证数据的一致性,需要制定模型版本更新制度并将设备替换和节点修复全部同步进入BIM数据库。在长时间运行时,该平台能够根据机器学习算法确定能耗偏离趋势和自动生成节能策略报告来实现模型驱动的智能运维。

3.2 能源管理系统的建设与动态优化机制

构建能源管理系统(EMS)时,应将分层控制和动态决策作为其核心要素。系统架构一般分为采集层、分析层和执行层:采集层由电表,流量计和温湿度传感器完成分项计量;分析层采用能耗模型和AI预测算法,构建实时能效评价;执行层再根据预测结果对设备的运行参数进行自动调节。例如在北京的一个大型公共建筑项目中,通过应用基于天气预报和占用率预测的模型预测控制(MPC)技术,成功地实现了冷机的提前启停和峰谷负荷的转移,从而使全年的综合能耗降低了12%。运行时应将异常能耗诊断模块引入系统,对“虚负荷”和“冷源采用短循环”的隐性浪费进行自动识别,形成闭环的工单推送。为了保证优化结果具有可追溯性,可以构建一个时间序列数据仓库来存储全部调控记录和参数变化情况,并实现“数据—算法—实现—回馈”自校正机制。同时EMS还应该具有策略版本管理的功能,在各种季节或者运行条件下都能迅速切换优化模型以维持多变环境中系统节能和稳定^[3]。

3.3 数据驱动的能耗监测与节能决策支持

基于数据驱动能耗管理的核心是建立动态基线和实时分析体系。建筑要建立多维度的数据采集端口,涵盖电、冷、热、水、照明等重点环节,构成一分钟级别的高频监测网络。采用时间序列算法构建能耗基线模型,综合考虑天气、人员密度和设备启停状态等因素对其归一化修正以保证节能评估的可比性。以杭州的一个装配式科研楼为例,运维团队利用数据平台进行监测,发现冷机的能效系数(COP)在季节中的波动超过了15%。系统会自动识别这些波动的原因,并相应地调整冷却塔的启停逻辑,从而使得下个月的能耗有了明显的下降;能耗数据要与BIM和EMS相互连接,构成三维可视化的分析界面,使得能耗异常区域,设备运行状况清晰明了。

决策层中高能耗行为模式可以通过聚类分析进行辨识，相应地制定节能设定值和负荷优化策略；通过 AI 推演和情景模拟实现了不同节能方案的量化评估和收益预测，从而为管理者根据数据证据做出精准决策提供支持。

4 装配式绿色建筑运维节能的实施保障与提升路径

4.1 运维管理体系的完善与标准化建设

装配式绿色建筑节能运行有赖于高效管理体系，要以制度化、数字化和可追溯为主要抓手加以推进。需要制定一个涵盖“巡检—保养—考核—提高”整个流程的标准化操作程序，并将设备的能效、维护周期和运行记录整合到一个统一的数据库中^[4]。运维团队需要装备 BIM-FM 一体化平台进行构件编码及能耗档案的准确定位及自动派单。例如在苏州的一个装配式产业园区，通过建立智能运维中心，成功地将空调和照明系统的异常预警率提高到了 98%，同时减少了近一半的人工干预。管理制度应引入绩效考核和责任追溯机制，量化考评节能率、故障响应时间和能耗偏差等主要指标。对于那些选择外包维护的单位，应当采纳能效合同（EPC）的方式，并以节能表现作为结算的标准。最终形成“以标准为导向，以数据为支撑，以绩效为驱动”的管理闭环，使节能管理从经验依赖转向制度化运营。

4.2 节能评价指标体系与绩效考核机制

构建科学节能评价体系，需要以分级指标为主线，覆盖建筑总体能效，系统运行效率和人员管理绩效三个主要维度。要根据国家 GB/T 51164 标准和地区节能导则制定单位面积能耗，能源利用率和设备运行 COP 的关键量化指标以及季节负荷波动的动态权重设定。如在广州的一个装配式住宅项目中，冷源系统的能效、照明功率密度以及可再生能源的利用率被选为主要的评价指标，从而实现了年度综合能耗下降 18% 的目标。绩效考核时可以引入能耗基线对比法动态核算节能改进前与节能改进后的差异；同时利用积分制将运维响应时效，策略调整合理性和用户舒适度等因素融入综合评估中。该系统要自动产生月度能效报告并接受第三方审计机构的审核，保证评估的公正和透明。最终形成基于数据和成果的闭环绩效，促进节能管理不断优化。

4.3 政策支持与行业协同推动的持续优化

装配式绿色建筑节能优化有赖于政策导向和产业

协同，目前要建立政府、企业和科研机构等多层联动机制以实现政策激励与技术落地全链条联通^[5]。地方政府有能力通过实施“绿色建筑运营标识加能耗验证”的双重认证机制，来激励企业更积极地参与节能评估和绩效的公开透明；符合节能等级 I 级要求的，实行电价补贴或者税收减免。在产业方面要成立装配式建筑运维节能联盟以促进构件厂，设备商和能源服务公司分享数据标准和运维经验。以成都高新园区为例，它采用了“政府与企业共建能源云平台”策略，成功地协调了园区内 50 多栋装配式建筑的能源消耗，每年的发电量都超过了 300 万千瓦时。科研机构有机会参与到节能算法模型和设备标准的制定过程中，以实现数据和技术的双向循环创新。在政策激励和行业协作叠加作用下，塑造可持续绿色运维长远生态，促进装配式建筑走向高效、智能。

5 结论

研究认为装配式绿色建筑节能效益，主要依靠运维阶段系统化管理和技术协同。建筑围护结构热工维护、机电系统智能运行、可再生能源深度融合等构成了节能核心。BIM 和物联网集成应用使得能耗调控精确可视化成为可能，同时能源管理系统通过动态优化确保了长期节能的效果。健全的标准化管理体系和绩效考核机制，可以使节能目标变为可持续行动。今后需要加强政策协同和行业共享以促进装配式绿色建筑高效、可达、智能地长效发展于运营阶段。

参考文献

- [1] 张雪. 装配式建筑技术在绿色建造中的综合应用[J]. 石材, 2025, (10): 146-148.
- [2] 袁栋. 装配式建筑在低碳住宅中的应用研究[J]. 美与时代(城市版), 2025, (09): 19-21.
- [3] 吕胜坤, 冉景贵, 李应平, 等. 绿色低碳建筑施工协同设计策略及性能优化研究[J]. 住宅产业, 2025, (09): 94-96.
- [4] 张阳. 西北地区装配式绿色建筑成本效益分析与政策激励研究[J]. 砖瓦, 2025, (09): 156-158+161.
- [5] 郭振法. 预制构件在绿色建筑施工中的装配精度控制技术探究[J]. 建材发展导向, 2025, 23(17): 103-105.

项目名称：基于预制装配式绿色住宅建筑节能指标的研究与应用，编号：HYZY202010，